

การประเมินอายุการใช้งานแบตเตอรี่ชีวิตที่สองด้วยวิธี Equivalent Full Cycle Assessment of Second-Life Battery Lifetime Based on the Equivalent Full Cycle Approach

กันตินันท์ สกุลไพศาล¹ ธีระพล เหมือนขาว¹ พงษ์ประภัทร ชูหิรัญญ์วัฒน์² และ ศิริรัตน์ ศรีอินทร์^{3*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี Guntinan_s@rmutt.ac.th theerapol.m@en.rmutt.ac.th

²ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
phongpraphat.c@nsru.ac.th

³ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและระบบควบคุมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
B5722853@gmail.com*

บทคัดย่อ

การใชยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ในประเทศไทยเพิ่มสูงขึ้น ช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และบรรเทาปัญหาโลกร้อน อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ซึ่งเป็นแหล่งกักเก็บพลังงานหลักเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งาน จนไม่เหมาะต่อการใช้งานในยานยนต์ แนวทาง “แบตเตอรี่ชีวิตที่สอง” สำหรับระบบกักเก็บพลังงานในครัวเรือนจึงได้รับความสนใจ

งานวิจัยนี้นำเสนอกรอบวิธีประเมินอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ชีวิตที่สอง โดยผสานแนวคิดจำนวนรอบเทียบเท่ารอบเต็ม (Equivalent Full Cycles: EFC) เข้ากับการจัดตารางการคายประจุที่เหมาะสมซึ่งปรับด้วยอัลกอริทึม Grey Wolf Optimizer (GWO) เพื่อมุ่งลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าครัวเรือน ภายใต้ข้อจำกัดเชิงกายภาพของแบตเตอรี่ พร้อมประมาณอายุการใช้งานที่เหลือ (Remaining Useful Life: RUL) ในหลายกรณีศึกษา ผลการทดลองยืนยันว่าแนวทางที่นำเสนอสามารถสนับสนุนการจัดการพลังงานภาคครัวเรือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดค่าใช้จ่าย และแสดงศักยภาพของแบตเตอรี่ชีวิตที่สองต่อประโยชน์เชิงเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมในบริบทประเทศไทย.

คำสำคัญ: แบตเตอรี่ชีวิตที่สอง, การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่, การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฟูลงาปา

Abstract

The adoption of electric vehicles (EVs) in Thailand is rising, helping to reduce carbon dioxide emissions and mitigate climate change. However, traction batteries—the primary energy storage component—degrade over time, eventually becoming unsuitable for in-vehicle use. Repurposing these retired packs as second-life batteries for residential energy storage has therefore attracted growing interest.

This study presents a framework to assess the lifetime of second-life batteries by integrating the equivalent full cycles (EFC) concept with an optimized discharge-scheduling strategy

tuned via the Grey Wolf Optimizer (GWO). The objective is to minimize household electricity costs subject to the battery’s physical constraints, while concurrently estimating the remaining useful life (RUL) across multiple case studies. Experimental results confirm that the proposed approach effectively supports residential energy management, reduces electricity expenditures, and highlights the techno-economic and environmental potential of second-life batteries in the Thai context.

Keywords: second-life battery, battery degradation, Gray Wolf Optimization

1. บทนำ

การเติบโตของยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ในประเทศไทยช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านด้านพลังงานอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม เมื่อแบตเตอรี่ในยานยนต์เสื่อมสภาพตามอายุการใช้งานและไม่เหมาะสมต่อการกักเก็บเคลื่อนที่ต่อไป ปริมาณแบตเตอรี่ที่ “ปลดระวางจากยานยนต์” จะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของการใช้งาน EV ที่ขยายตัว หากขาดแนวทางการใช้ประโยชน์ต่อ อาจก่อให้เกิดทั้งต้นทุนสิ่งแวดล้อมและภาระด้านการจัดการของเสีย

ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะนำแบตเตอรี่ที่ปลดระวางของรถยนต์ไฟฟ้าไปใช้ในการกักเก็บพลังงานในส่วนอื่นอาทิเช่น การใช้งานในภาคครัวเรือน ซึ่งเราจะเรียกแบตเตอรี่เหล่านี้ว่าแบตเตอรี่ชีวิตที่สอง แนวคิดดังกล่าวช่วยยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ ลดความต้องการผลิตแบตเตอรี่ใหม่และช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านค่าไฟฟ้าตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU โดยความคุ้มค่าของการประยุกต์ใช้แบตเตอรี่ชีวิตที่สองขึ้นอยู่กับความสามารถในการประเมิน RUL และการควบคุมรูปแบบการใช้งานที่เหมาะสม

การศึกษานี้จึงนำเสนอกรอบวิธีการแบบบูรณาการที่ใช้การประเมินอายุของแบตเตอรี่ชีวิตที่สองด้วยการพิจารณารอบการใช้งานเทียบเท่ารอบเต็ม เป็นแกนกลางในการประเมินชีวิตที่เหลือของแบตเตอรี่ (Remaining Useful Life :RUL) และเชื่อมโยงกับอัลกอริทึมเพิ่มประสิทธิภาพการคายประจุ เพื่อมุ่งลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าของครัวเรือนภายใต้ข้อจำกัดด้านสุขภาพ

แบตเตอรี่ กรอบดังกล่าวช่วยออกแบบตารางการอัดประจุและคายประจุที่เหมาะสมต่อโครงสร้างอัตราค่าไฟและอายุของแบตเตอรี่

2. ปรัชญาวรรณกรรม

2.1 การประยุกต์ใช้แบตเตอรี่ชีวิตที่สองในระบบกักเก็บพลังงาน

มีงานวิจัยหลายฉบับที่เน้นการศึกษาการนำแบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพแล้วมาใช้ใหม่ในระบบกักเก็บพลังงานภายในบ้าน โดยส่วนใหญ่จะมีการใช้แบตเตอรี่ที่ไม่สามารถใช้งานในยานยนต์ไฟฟ้าแล้วมาใช้ในการกักเก็บพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทน เช่น ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ (PV) หรือพลังงานลม [1] งานวิจัยเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่า การใช้แบตเตอรี่ชีวิตที่สองสามารถลดต้นทุนการจัดเก็บพลังงานได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถช่วยให้ครัวเรือนลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงราคาไฟฟ้าแบบชั่วโมง (Time-of-Use, TOU) ที่สูงขึ้นในช่วงเวลา peak

การใช้แบตเตอรี่ชีวิตที่สองในระบบ BESS สามารถช่วยในการจัดการพลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และลม โดยการเก็บพลังงานส่วนเกินและปล่อยพลังงานในช่วงที่ความต้องการสูง ช่วยเพิ่มความเสถียรของกริดและลดการพึ่งพาแหล่งพลังงานฟอสซิล [2]

2.2 การประเมินอายุของแบตเตอรี่ชีวิต

กลไกการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ประกอบด้วยกลไก 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ค่าความเสื่อมสภาพที่เกิดจากการจัดเก็บหรือเรียกว่า Calendar Aging และการเสื่อมสภาพเนื่องจากจำนวนรอบการใช้งานหรือเรียกว่า Cycle Aging ดังแสดงในสมการ (1)

$$Q_{loss} = Q_{Calendar} + Q_{cycle} \quad (1)$$

โดยที่ Q_{loss} คือค่าความสูญเสียความจุของแบตเตอรี่ (Ah) $Q_{Calendar}$ คือการสูญเสียความจุที่เกิดจาก Calendar Aging ต่อหนึ่งรอบ และ Q_{cycle} คือการสูญเสียค่าความจุที่เกิดจาก Cycle Aging ต่อหนึ่งรอบ

Calendar Aging หรือการเสื่อมสภาพตามรอบปฏิทินคือการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่แม้ในขณะที่ไม่ได้ใช้งาน เช่น เมื่อแบตเตอรี่ถูกจัดเก็บไว้ในสถานที่ต่างๆ หรือยานยนต์ไฟฟ้าหรือยานยนต์ไฮบริดจอดทิ้งไว้เป็นเวลานาน การเสื่อมสภาพประเภทนี้ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่อย่างมีนัยสำคัญ [3] โดยการเสื่อมสภาพขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม อาทิเช่น อุณหภูมิของบริเวณที่แบตเตอรี่ถูกติดตั้งอยู่ที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของชั้น Solid Electrolyte Interface (SEI) การสูญเสียปริมาณลิเทียม (Lithium Inventory Loss : LLI) และ ทำให้เกิด Loss of Active Material (LLM) ดังนั้นการเสื่อมสภาพประเภทนี้จะเกิดขึ้นตลอดเวลาแม้ว่าแบตเตอรี่จะไม่ได้ใช้งาน [4]

Cycle Aging คือกระบวนการเสื่อมสภาพที่เกิดจากการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลงอย่าง

ค่อยเป็นค่อยไป ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการนี้ ได้แก่ การเสื่อมสภาพของวัสดุอิเล็กโทรด ความเค้นเชิงกล ผลกระทบจากความร้อนและการสลายตัวของอิเล็กโทรไลต์ [5] สำหรับการชาร์จแบบพัลส์ ซึ่งเป็นการจ่ายกระแสชาร์จเป็นจังหวะแทนการจ่ายต่อเนื่อง จะช่วยบริหารการเกิดความร้อน ลดความเค้นของส่วนประกอบภายใน และส่งเสริมการแพร่ของไอออน โดยการบรรเทาการเสื่อมของความจุและการยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่โดยรวม ซึ่งปัญหาของการคำนวณจำนวนรอบการทำงานของแบตเตอรี่คือ การนับ 1 รอบการทำงานคือการอัดประจุแบตเตอรี่จนถึงความจุสูงสุดและคายประจุจนหมด แต่ในทางปฏิบัติการอัดประจุและการคายประจุขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของโหลด โดยทั่วไปแล้วแบตเตอรี่ชีวิตที่สองจะมีพฤติกรรมการอัดประจุและคายประจุขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตของโซลาร์เซลล์และพฤติกรรมของโหลด ณ เวลาต่าง ๆ ดังนั้นการนับรอบการทำงานของแบตเตอรี่แบบเดิมจึงไม่เหมาะสมกับรูปแบบการทำงานของแบตเตอรี่ ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวงานวิจัยฉบับนี้จึงใช้วิธีการนับรอบแบบ EFC

2.3 การออกแบบเส้นโค้งการอัดประจุและคายประจุที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสม

แบบฝูงหมาป่า

การออกแบบเส้นโค้งการอัดประจุและคายประจุมีความสำคัญในการบริหารจัดการพลังงานในระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้า (BESS) โดยการกำหนดเส้นโค้งเหล่านี้จะต้องพิจารณาความสามารถในการชาร์จและคายประจุของแบตเตอรี่ในช่วงเวลาต่างๆ ของวัน เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละเวลา โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่ค่าไฟฟ้าเป็นราคาสูง (เช่น ช่วงเย็นและกลางคืน) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ค่าใช้จ่ายสูงสุดในการใช้ไฟฟ้า การออกแบบเส้นโค้งการชาร์จและคายประจุจะช่วยให้การใช้งานแบตเตอรี่ในระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยการลดการชาร์จไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลักในช่วงเวลาที่ค่าไฟฟ้าสูง

การใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงหมาป่า (Grey Wolf Optimization, GWO) เพื่อหาค่าเส้นโค้งการอัดประจุและคายประจุที่เหมาะสมเป็นเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมแบบ Metaheuristic ที่ได้รับแรงบันดาลใจจากการล่าสัตว์ของหมาป่าในฝูง การใช้ GWO ในการออกแบบเส้นโค้งการชาร์จและคายประจุของแบตเตอรี่ช่วยให้สามารถค้นหาค่าที่ดีที่สุดที่ทำให้การใช้งานแบตเตอรี่เกิดประสิทธิภาพสูงสุดภายใต้ข้อจำกัดของการชาร์จและคายประจุ รวมถึงการลดค่าใช้จ่ายพลังงานในแต่ละช่วงเวลาของวันได้ โดยในงานนี้ได้พิจารณาฟังก์ชันกวดูประสงค์ดังแสดงในสมการที่ (4) พร้อมกับเงื่อนไขดังแสดงในสมการที่ (2)-(5) [6]

$$\min C = \sum_{t=1}^n (P_{net}(t) + P_c(t) - P_{dc}(t)) \times C_{TOU}(t) \quad (2)$$

เงื่อนไข

$$SOC_{\min}(t) \leq SOC(t) \leq SOC_{\max}(t) \quad (3)$$

$$0 \leq P_c(t) \leq P_{c,\max} \quad (4)$$

$$0 \leq P_{dc}(t) \leq P_{dc,\max} \quad (5)$$

โดย C คือค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (บาท/สัปดาห์) $P_{net}(t), P_{dc}(t), P_c(t)$ และ $C_{TOU}(t)$ คือกำลังไฟฟ้าสุทธิของโหลดกำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่คายประจุ กำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่อัดประจุและอัตราค่าไฟฟ้าตามเวลาใดๆตามลำดับ นอกจากนั้นในเงื่อนไขของการหาค่าที่เหมาะสมได้อธิบายถึงการควบคุมสถานะของแบตเตอรี่ให้อยู่ในช่วงที่กำหนดโดยในงานนี้กำหนด $SOC_{\min}$ และ $SOC_{\max}$ ไว้ที่ 20%-100% ตามลำดับ เพื่อให้การคายประจุและการอัดประจุของแบตเตอรี่ไม่เกินค่าพิกัดการควบคุมปริมาณของการคายประจุและการอัดประจุของแบตเตอรี่ถูกแสดงไว้ดังสมการที่(4)-(5)

2.4 วิธีการประเมินการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ด้วยการพิจารณาการใช้งานเทียบเท่ารอบเต็ม

ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการพิจารณาใช้รอบการทำงานแบบ EFC เพื่อประเมินการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน โดยการคำนวณจากค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละปี ซึ่งจะช่วยให้คำนวณการเสื่อมสภาพได้ตามจำนวนการใช้งานที่เกิดขึ้นจริงในระยะยาว

การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ที่เกิดจากการใช้งานซ้ำหลายรอบ (cycle aging) มักประเมินจากความลึกการคายประจุ (DoD) ของแต่ละรอบ ซึ่งสะสมเป็น ปริมาณประจุสะสม เพื่อนำไปแปลงเป็นจำนวน รอบเทียบเท่าเต็ม (EFC) เพื่อจัดการปัญหาการใช้งานแบบบางส่วนของรอบ (partial cycle) โดยนิยามได้ดังสมการ (6)-(7)

$$Q = \int_0^t |I(t)| dt \quad (6)$$

$$EFC = \frac{Q}{2 \times C_{batt}} \quad (7)$$

โดยที่ I คือกระแสที่เกิดจากการอัดประจุและคายประจุ (A) และ C_{batt} คือความจุของแบตเตอรี่ (Ah) หลังจากนั้นค่า EFC จะถูกนำไปคำนวณการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ด้วยสมการที่ (8)

$$Q_{cycle} = k_{cycle} \times EFC^\beta \quad (8)$$

โดยที่ k_{cycle} และ β คือ ค่าคงที่การสูญเสียความจุทางไฟฟ้าต่อรอบ และ ค่าคงที่การคายประจุแบบไม่เต็มรอบ ตามลำดับ โดยค่า k_{cycle} และ β ถูกกำหนดให้มีค่า 0.001 และ 1.2 ตามลำดับ [7]

ดังนั้นความจุทางไฟฟ้าคงเหลือและอายุที่เหลือของแบตเตอรี่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (9)-(10)

$$Q_{remain} = Q_{2nd} - Q_{EOL} \quad (9)$$

$$RUL = \frac{Q_{remain}}{Q_{Cycle}} \quad (10)$$

โดยที่ Q_{remain} , Q_{2nd} และ Q_{EOL} คือ ความจุคงเหลือของแบตเตอรี่ ความจุของแบตเตอรี่ขณะเริ่มชีวิตที่สองและความจุของแบตเตอรี่ขณะสิ้นสุดชีวิตที่สอง

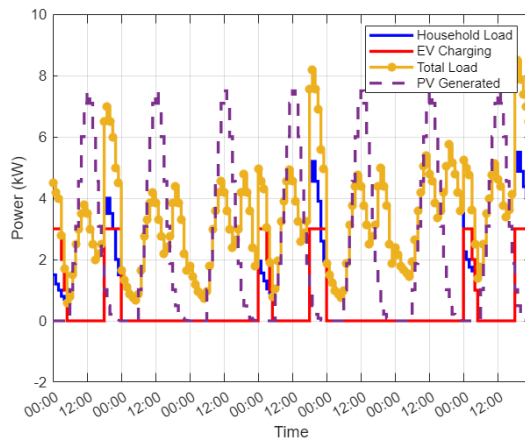
3. ผลการจำลอง

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงการจำลองผลการประเมินอายุของแบตเตอรี่ชีวิตที่สองร่วมกับการออกแบบเส้นโค้งการอัดประจุและคายประจุที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าและประเมินอายุที่เหลือของแบตเตอรี่หากใช้งานด้วยพฤติกรรมเดิมซ้ำ ๆ ซึ่งผลจำลองจะแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ผลจำลองการสร้างเส้นโค้งการอัดประจุและคายประจุที่เหมาะสม และผลจำลองการประเมินอายุที่เหลืออยู่ของแบตเตอรี่

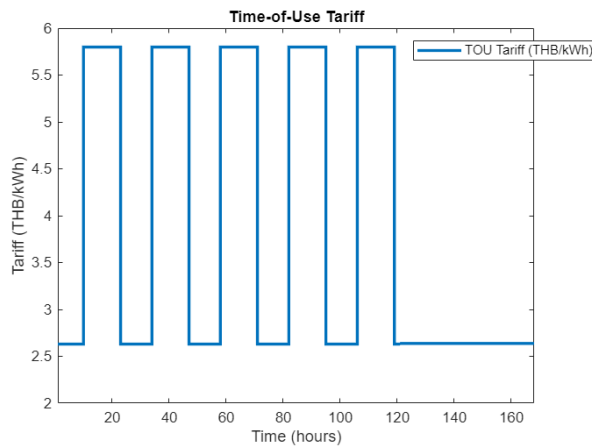
ในหัวข้อนี้กล่าวถึงการจำลองการออกแบบเส้นโค้งการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ โดยแบตเตอรี่ชีวิตที่สองถูกนำมาใช้งานกับโหลดที่อยู่อาศัยที่มีเส้นโค้งความต้องการใช้ไฟฟ้าที่มีการติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์และเครื่องอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ (1)

จากรูปที่ (1) แสดงภาพรวมของที่พักอาศัยที่ประกอบด้วยความต้องการของเครื่องใช้ไฟฟ้าและเครื่องอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้า โดยที่พักดังกล่าวได้ถูกคิดค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบ TOU โดยมีอัตราค่าใช้จ่ายเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ใช้งานดังแสดงในรูปที่ (2)

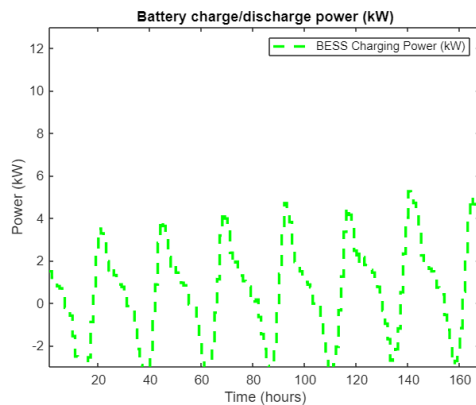
เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าระบบโซลาร์เซลล์ขนาด 5 kW จึงถูกติดตั้งเข้ากับที่พักดังกล่าวและพบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้บางส่วนดังแสดงในตารางที่ 1 เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นของการใช้พลังงาน ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ชีวิตที่สองจึงถูกติดตั้งเข้ากับบ้านหลังดังกล่าว โดยแบตเตอรี่มีขนาด 60.5 kWh ที่ SOH 100% เมื่อถูกพิจารณาเป็นแบตเตอรี่ชีวิตที่สองความจุจึงลดลงเหลือ 48.4 kWh ที่ SOH 80% การใช้งานแบตเตอรี่สามารถใช้งานได้หลายรูปแบบ โดยในงานนี้จะนำเสนอการใช้งานในรูปแบบการกักเก็บพลังงานเกินที่ผลิตได้จากระบบโซลาร์เซลล์และนำไปใช้งานในช่วงที่ระบบโซลาร์เซลล์ผลิตไม่เพียงพอ(กรณีฐาน)กับวิธีการออกแบบเส้นโค้งการอัดประจุและคายประจุที่เหมาะสม (กรณีหาค่าที่เหมาะสม) โดยผลลัพธ์ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 1 และรูปที่ 3



รูปที่ 1 เส้นโค้งความต้องการใช้ไฟฟ้าของที่พักอาศัย



รูปที่ 2 อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU



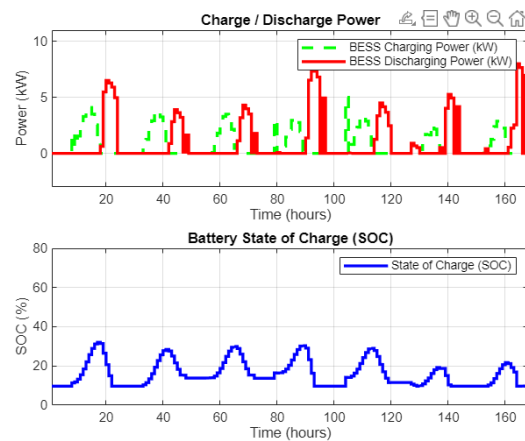
รูปที่ 3 ผลการจำลองกรณีฐาน

รูปที่ 3 แสดงถึงการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ โดยแบตเตอรี่จะอัดประจุ(ค่า+)พลังงานในช่วงที่มีกำลังการผลิตเกินความต้องการและจะคายประจุ(ค่า-)ในช่วงที่มีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงซึ่งลักษณะการอัดและคายประจุจะไม่มีการควบคุม

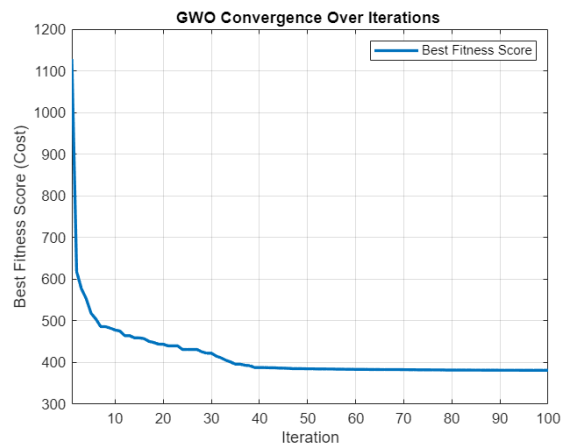
เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า การออกแบบเส้นโค้งการอัดประจุและคายประจุที่เหมาะสมด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบผูกมัดโดยใช้ฟังก์ชันกัณฑ์ประสงค์และเงื่อนไขตามสมการที่ (2)-(5) ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อเดือนของที่อยู่อาศัยดังกล่าว

รูปที่ 4 คือเส้นโค้งการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่และค่าสถานะของแบตเตอรี่ (SOC) ที่ถูกสร้างด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบผูกมัดโดยใช้ฟังก์ชันกัณฑ์ประสงค์และเงื่อนไขตามสมการที่ (2)-(5) ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อเดือนของที่อยู่อาศัยดังกล่าว

รูปที่ 5 แสดงผลลัพธ์ของฟังก์ชันกัณฑ์ประสงค์ของแต่ละรอบของการคำนวณของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมของผู้อนุญาต ซึ่งการควบคุมการอัดประจุและคายประจุที่เหมาะสมสามารถลดค่าใช้จ่ายจาก 667.42 บาทต่อสัปดาห์ เหลือ 392.611 บาทต่อเดือน ดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 4 ผลการจำลองการออกแบบเส้นโค้งการอัดประจุและคายประจุที่เหมาะสม



รูปที่ 5 เส้นโค้งการเข้าสู่ของผลลัพธ์

ตารางที่ 1 ผลการจำลองการอัดประจุและการคายประจุที่เหมาะสม

กรณีศึกษา	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อปี)
กรณีฐาน	34,804.64
กรณีหาค่าที่เหมาะสม	20,471.86

จากตารางพบว่าการออกแบบเส้นเคเบิลการอัดประจุและการคายประจุที่เหมาะสมสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ โดยการระบบจะทำหน้าที่กักเก็บพลังงานส่วนเกินจากการผลิตและนำไปใช้งานในช่วงที่มีอัตราค่าไฟฟ้าสูง จึงทำให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลดลง จากผลการจำลองดังกล่าวจะถูกนำไปประเมินอายุที่เหลืออยู่ของแบตเตอรี่ โดยผลการจำลองมีผลดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการประเมินอายุแบตเตอรี่

ค่า	ปริมาณ
จำนวนพลังงานที่ใช้ตลอดทั้งปี(Ah)	74,927.68
จำนวนพลังงานที่โซลาร์เซลล์ผลิตได้ตลอดทั้งปี (Ah)	50,563.20
จำนวนพลังงานที่แบตเตอรี่คายประจุ (Ah) ต่อปี	38630.71
รอบการใช้งานเทียบเท่ารอบเต็ม(รอบ) ต่อปี	6.96
อายุแบตเตอรี่ที่เหลือ (ปี) ที่ SOH 20 %	18.68

จากตารางที่ 2 แสดงผลการประเมินอายุของแบตเตอรี่ โดยเมื่อนำแบตเตอรี่ไปใช้งานร่วมกับการอัดและคายประจุที่เหมาะสมจะทำให้แบตเตอรี่ดังกล่าวสามารถใช้งานได้อีก 18.68 ปี โดยเมื่อครบเวลาจะทำให้สุขภาพแบตเตอรี่ลดลงเหลือ 20 %

4. สรุปผลการจำลอง

บทความฉบับนี้ผู้เขียนได้นำเสนอการประยุกต์ใช้แบตเตอรี่ชีวิตที่สองร่วมกับโหนดชนิดที่อยู่อาศัยที่พิจารณาระบบโซลาร์เซลล์และโหนดที่เกิดจากการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้า โดยการจำลองได้แสดงให้เห็นถึงวิธีการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับสร้างเส้นเคเบิลการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ชีวิตที่สองเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของที่พักอาศัยที่พิจารณาค่าไฟฟ้าแบบ TOU ซึ่งทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายได้สูงถึง 41.18 % เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีฐาน หลังจากนั้นรูปแบบการทำงานของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมจะถูกนำไปประเมินอายุแบตเตอรี่ด้วยวิธีการประเมินอายุของแบตเตอรี่ด้วยรอบการใช้งานเทียบเท่ารอบเต็ม โดยผลการประเมินพบว่าแบตเตอรี่ดังกล่าวสามารถใช้งานได้เป็นระยะเวลา 18.68 ปี

5. งานวิจัยในอนาคต

การประเมินอายุของแบตเตอรี่ของงานวิจัยฉบับนี้ยังขาดหลายองค์ประกอบที่ทำให้เกิดความเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ อาทิเช่นการเสื่อมสภาพตามปฏิทินที่เกิดขึ้นตลอดเวลา ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ความชื้น นอกจากนั้นการประเมินความร้อนที่เกิดขึ้นขณะที่แบตเตอรี่ถูกอัดประจุและคายประจุยังไม่ถูกพิจารณาในงานวิจัยฉบับนี้ ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตจะมุ่งเน้นศึกษาองค์ประกอบที่ขาดไป เพื่อให้ผลการจำลองมีความแม่นยำและสอดคล้องกับความเป็นจริงมากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

1. Saez-de-Ibarra, A., et al. *Second life battery energy storage system for residential demand response service*. in 2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). 2015.
2. Roslan, M.F., et al., *Second-life battery energy storage system for energy sustainability: Recent advancements, key takeaways and future perspectives*. Journal of Energy Storage, 2025. 123: p. 116808.
3. Liu, K., et al., *An evaluation study of different modelling techniques for calendar ageing prediction of lithium-ion batteries*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020. 131: p. 110017.
4. Plattard, T., et al. *Combining a Fatigue Model and an Incremental Capacity Analysis on a Commercial NMC/Graphite Cell under Constant Current Cycling with and without Calendar Aging*. Batteries, 2019. 5, DOI: 10.3390/batteries5010036.
5. Pender, J.P., et al., *Electrode Degradation in Lithium-Ion Batteries*. ACS Nano, 2020. 14(2): p. 1243-1295.
6. Juanhuathon, G.S.S.S.M.N.N., *Optimization and Economic Assessment of Energy Management Using Second-Life Batteries*, in The 47th Electrical Engineering Conference (EECON-47). 2567. p. 113-118.
7. Schimpe, M., et al., *Comprehensive Modeling of Temperature-Dependent Degradation Mechanisms in Lithium Iron Phosphate Batteries*. Journal of The Electrochemical Society, 2018. 165(2): p. A181.
8. Wang, J., et al., *Degradation of lithium ion batteries employing graphite negatives and nickel-cobalt-manganese oxide + spinel manganese oxide positives: Part 1, aging mechanisms and life estimation*. Journal of Power Sources, 2014. 269: p. 937-948.